

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.05.14

水平分支孔定向钻探技术及其在煤矿水害防治中的应用

——以东庞煤矿 ZKxx3 孔钻探施工为例

叶兰肃¹, 马卫东¹, 王雷浩², 南方³

(1. 河北省地矿局第七地质大队, 河北 廊坊 065201; 2. 河北省地矿局第九地质大队, 河北 邢台 054000; 3. 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 本文以东庞矿北井 9400 采区 2[#]煤层奥灰含水层区域注浆改造一期工程 ZKxx3 孔施工为例, 详细介绍了水平分支孔定向钻探施工设计、钻探施工工艺、主要技术措施等。实践证明, 该定向钻探技术能够探查奥陶灰岩含水层区域中的断层、陷落柱等构造的导水通道和富水层段, 超前注浆充填奥陶系灰岩上部溶隙和裂隙, 封堵断层等构造薄弱区段, 扩大加固面积, 实现由井下局部治理向地面区域治理煤层底板奥灰水害。由超前探测向掘前治理转变, 在时空上达到了区域超前防治水害的目的, 取得了显著的经济及环境效益。

关键词: 东庞煤矿; 奥陶灰岩含水层; 煤矿水害防治; 水平分支孔定向钻探技术; 超前注浆加固

中图分类号: P634.1; X752

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)05-0105-07

Application of directional drilling technology of horizontal branch hole in the drilling of ZKxx3 hole in Dongpang Coal Mine water disaster prevention and control

YE Lansu¹, MA Weidong¹, WANG Leihao², NAN Fang³

(1. No. 7 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Langfang, Hebei 065201, China; 2. No. 9 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Xingtai, Hebei 054000, China; 3. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: Taking the construction of ZKxx3 hole in the first stage of grouting reconstruction of no. 2 coal-ornite aquifer in north well 9400 dongpang mine as an example, this paper introduces in detail the construction design, drilling technology and main technical measures of directional drilling for horizontal branch hole. Practice proved that the directional drilling technology as much as possible to probe into the ordovician limestone aquifer fault and collapse column structure of the area of the water channel and rich water, advance grouting filling the upper ordovician limestone dissolution gaps and cracks, jig faults and tectonic weak section, expand the reinforcement area, to realize the local management to the ground area management by underground coal floor Mr Grey water disasters, from the advanced detection to dig governance before, met the area ahead of the prevention and control of water disasters objectives in time and space, has achieved remarkable economic and environmental effects.

收稿日期: 2020-04-25; 修订日期: 2020-05-18

第一作者: 叶兰肃(1970-), 女, 河北省南宫市人, 本科, 高级工程师, 主要从事探矿工程专业钻探机具和钻探施工工艺技术研究。E-mail: yelansu@126.com

Keywords: Dongpang coal mine; ordovician limestone aquifer; prevention and control of water hazards in coal mines; directional drilling technology of horizontal branch hole; advance grouting

0 引言

东庞煤矿属隐伏煤田,其工程地质、水文地质条件比较复杂。矿区内断层、褶皱发育,尤其是隐伏导水构造(特别是导水陷落柱)的存在,以及井田范围内存在的 30 个封闭不良或封孔资料不清的钻孔,成为开采 2[#]煤层的潜在威胁,严重制约了煤矿的安全开采。原有的井下钻探注浆治理及地面传统的单孔注浆治理,已不能满足安全生产的需要。目前关于煤层顶、底板含水层防治,前人已开展了大量的研究工作。李晓龙等^[1]、金鑫等^[2]针对煤层底板奥灰水治理方案,开展了定向长钻孔适应性研究;林玉祥等^[3]、吴玉华等^[4]针对承压含水层开展实践治理;郑士田^[5]针对两淮煤田煤层底板含水层开展了超前预测技术研究;王永全^[6]对我国矿井水防控等问题进行了梳理分析,并提出矿井水防治技术方向和利用。基于前人研究实践工作基础,笔者针对东庞矿区 2[#]煤层底板承压水害,利用水平分支孔定向钻进及高压注浆技术,超前改造煤层底板奥陶灰岩含水层,增加煤层底板隔水厚度及强度,以防治水害的发生,为 2[#]煤层的安全开采奠定了基础。

1 矿区概况

1.1 矿区地质概况

东庞煤矿位于河北省内丘县大孟村镇吴村以西 500 m。矿区地表均被第四系松散沉积物所掩盖,仅在井田西部边缘有基岩出露。其位于新华夏系第二沉降带与新华夏系第三隆起带的过渡地带,受我国东部中生代多次构造运动的影响,尤其是受到新华夏系的强烈改造,矿区中部断裂带构造发育,以断层为主;北部波曲区断层和褶皱都很发育;南部单斜区陷落柱最为发育。在勘探深度范围内,揭露的矿区地层由老至新依次为:太古界赞皇群、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、第四系地层。第四系为黄土层;二叠系为砾石层、细砂岩、泥岩、页岩;石炭系分为本溪组 and 太原组,地层厚度 91.22 ~ 186.75 m,平均厚度 147.51 m,岩性以灰、深灰色粉砂岩和灰、浅灰色细粒至中粒砂岩为主,局部分布有粗粒砂岩或含砾粗粒砂岩。奥陶系包括峰峰组 and 上马家沟组,奥陶系灰岩主要以蓝灰及浅灰厚层状灰岩、白云质角砾岩、花斑灰岩为主。采空区岩石成分复杂主要为细砂岩、砂质泥岩;煤层与含水

层之间主要岩性为铝土泥岩、泥岩、粉砂岩、细砂岩、中砂岩、灰岩以及破碎带等隔水层。矿区含水地层结构见图 1。

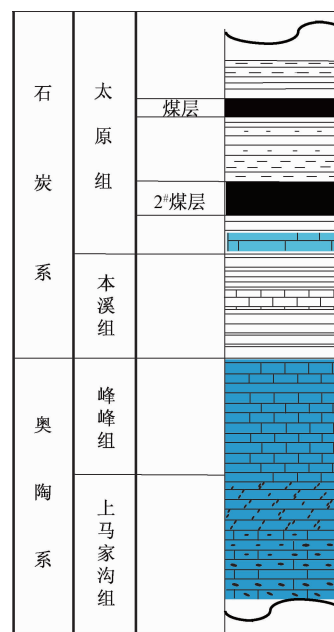


图 1 矿区地层结构图

Fig.1 Scheme of the layer

1.2 含水层及水害特点

东庞煤矿处于百泉水文地质单元的西北边界地段,含水层分为孔隙、裂隙、岩溶裂隙含水岩组三种基本类型。奥灰含水层为强含水层,含水丰富,在导水构造影响下,成为上覆各含水层的潜在补给源和矿井的间接充水水源,2003 年 4 月 2903 工作面掘进过程中揭露编号为 X₇ 的隐伏陷落柱时,发生奥灰特大突水事故,瞬时最大突水量达到 $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。开采 2[#]煤层,受采掘破坏或影响的含水层为顶板砂岩裂隙承压含水层、野青灰岩岩溶裂隙承压含水层、第四系底部砂砾层含水层,均以静储量为主,矿井最大涌水量 $466 \text{ m}^3/\text{h}$,平均 $324 \text{ m}^3/\text{h}$,对煤矿的安全开采存在较大隐患,防治水害工程艰巨。

2 钻探技术实施背景与项目概况

2.1 钻探技术实施背景

在前期的采掘活动中,东庞煤矿因多次水患影响煤矿正常的开采。矿井进入 -480 m 生产水平后,2[#]

煤层底板奥陶灰岩含水层水压逐渐增大。近几年来,对东庞矿北井 9400 采区 2[#]煤层奥灰含水层区域实施底板注浆改造加固。

但是随着采掘深度的不断加深,煤层底板奥灰岩水压不断增大,底板注浆加固治理效果逐渐变差,常规的煤层底板注浆加固技术,已无法满足该区域水害防治的需求。经深入分析研究,主要原因是钻孔轨迹不可控,注浆孔终点偏差太多,存在注浆盲区,钻探工作量加大,施工人员劳动强度高^[7],现有的地面及井下注浆系统不能满足大容量高压注浆的要求等^[8],只有采用创新水害防治方法,选择更先进的水害防治技术,才能彻底消除 2[#]煤层底板的奥灰含水层突水威胁。

2.2 技术原理与特点

水平分支孔定向钻探技术在煤矿水害防治中的运用,是将地面定向钻探技术与地面注浆技术有机结合,实现煤矿奥灰含水层区域水害超前注浆治理。地面定向钻探施工包括钻进直孔段、造斜孔段及水平分支孔段。本次在东庞矿北井 9400 采区 2[#]煤层奥灰含水层区域钻进,在水平分支孔进行高压注浆封堵,通过 8 个分支孔的“探注结合”施工,有效封堵 2[#]煤层底板奥陶灰岩含水层区域中的断层、陷落柱等构造导水通道和富水层段,在煤层底板形成一个整体梳状的水泥止水板,以消除煤层底板高压突水威胁。

该定向钻进技术可准确探测煤层工作面的构造及煤层底板倾向、走向及标高情况^[9],属于精准定向钻进技术^[10]。采用复合定向钻进方式实现复合碎岩^[11]和“有滑有转”间歇造斜^[12],大幅度降低施工时的摩擦阻力,提高钻进效率。与常规水害防治技术相比,水平分支孔定向钻探技术有以下突出特点:

(1) 实现随钻测斜,能有效控制钻孔轨迹满足钻孔设计要求;

(2) 实现了“探注探治”结合,多个水平分支孔形成梳状大面积封堵层,实现煤矿水害的主动预防与治理^[13],能够高效防治煤层底板突水事故的发生;

(3) 降低钻探工作量和工人劳动强度,提高经济和环保效益。

2.3 项目概况

对东庞矿北井 9400 采区奥灰含水层区域注浆改造一期工程 ZKxx3 孔钻探工程进行设计与施工。

(1) 主要工程任务

主孔与水平分支孔,总进尺 6 028 m;注浆前的洗井及注浆后扫孔;地层异常等特殊情况下,需负责取岩(煤)屑、取水样等工作。

(2) 工程目的

注浆充填奥陶系灰岩上部溶隙和裂隙,封堵断层等构造薄弱区段。

(3) 工程工期

ZKxx3 孔场地平整及设备进场,工期 15 天;主孔及其分支孔纯钻探工期 150 天。

3 水平分支孔定向钻探设计

3.1 钻孔深度

主孔直孔段 200 m,造斜孔段 360 m,自 2[#]煤层底板以下 20 m 开始造斜,进入奥灰顶界面以下 25 m 进行水平分支孔施工。

3.2 钻孔数量与布置

(1) 钻孔数量:1 个主孔、8 个水平分支孔。

(2) 主孔布置在探查层位倾向的上方,分支孔沿地层倾向布置。

(3) 水平分支孔呈梳状分布,与裂隙、导水构造等发育方向呈垂直或斜交,空间位置选择在奥陶系灰岩以下 25 m 左右。钻孔布置结构示意图见图 2。

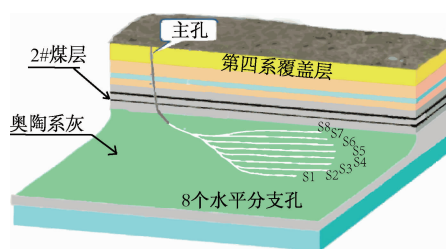


图2 钻孔布置示意图
Fig.2 Drill hole layout

4 水平分支孔定向钻探施工

4.1 施工设备

根据钻孔设计深度、现有设备、施工经验和钻进方法等,施工主要设备包括地面电脑处理系统及 TSJ2000 钻机、3NB500 型泥浆泵、3D5/40 型供水高压泵、无线随钻测斜仪(DMWD-C1)、方位伽马探管、单弯螺杆马达(1.5°、1.25°)、钻杆及无磁钻铤、水力振荡器及制浆注浆设备等。施工中优选使用 PDC 钻头,其适宜煤矿复杂地层条件,寿命长、岩性适应性广、便于实现定向造斜钻进^[14]。

4.2 钻孔结构及钻具组合

钻孔为四开结构,采用三级技术套管护壁措施,每级下入套管后,用水泥做永久性固管,通过图 3、表 1 和表 2,能直观看到 ZKxx3 主孔施工地层及钻孔轨迹、

钻孔结构及钻具组合数据。

4.3 技术关键

造斜、测斜及定向控制调整是水平分支孔定向钻进技术的关键。直孔段及造斜孔段关键点控制坐标差 ≤ 0.5 m;水平偏差和垂直偏差均 ≤ 1.5 m。钻孔着陆点前钻孔轨迹参数见表 3。

(1) 造斜

螺杆钻具以 2 m/min 的速度均匀送入孔内,禁止用转盘拧扣,避免马达倒转的发生。造斜点选择在稳定岩层(灰岩、砂岩)中,以避免硬、脆、碎岩层及矿化层不间断连续一次完成^[15]。按设计要求将工具面向角固定在某一方向进行定向施工,随时调整工具面向角实现钻孔轨迹调整^[16]。造斜孔段曲率半径为 180 m 左右,最大造斜率控制在 $8^{\circ}/30$ m。

(2) 测斜

为提高钻孔定向精度,施工过程的定向和测斜采用泥浆脉冲式无线随钻测斜仪,泥浆脉冲发生器将井

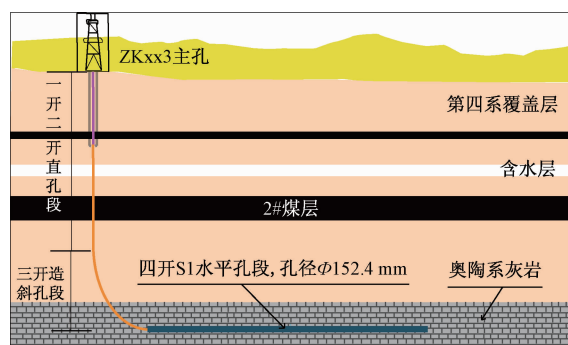


图 3 定向钻探施工示意图

Fig. 3 Construction sketch of directional

表 1 钻孔结构数据一览表

Table 1 List of drill hole structure data

开钻次序	进尺/m	钻头规格 Φ /mm	套管规格/mm	套管下深/m	水泥返深
一开直孔段	超过基岩 10 m	444.5	$\Phi 339.7 \times 9.65$	165	地面
二开直孔段	2#煤采空区以下 20 m	311	$\Phi 244.5 \times 8.89$	215.08	地面
三开造斜孔段	2#煤采空区以下 20 m ~ 奥灰顶界面以下 25 m	216	$\Phi 177.8 \times 8.05$	499.07	地面
四开 S ₁ 水平孔段	三开井底-完钻井深	152.4			

表 2 钻具组合一览表

Table 2 Drilling rig assembly

开钻次序	钻具组合
一开直孔段	$\Phi 445$ mm 牙轮钻头 + $\Phi 177.8$ mm 钻铤 + $\Phi 127$ mm 钻杆
二开直孔段	$\Phi 311$ mm (PDC) 钻头 + $\Phi 165$ mm 无磁钻铤 + $\Phi 165$ mm 钻铤 + $\Phi 127$ mm 钻杆
三开造斜孔段	$\Phi 216$ mm (PDC) 钻头 + $\Phi 165$ mm 单弯螺杆 + MWD 短节 + $\Phi 165$ mm 无磁钻铤 + $\Phi 127$ mm 加重钻杆 + $\Phi 114$ mm 钻杆
四开 S ₁ 水平孔段	$\Phi 152$ mm (PDC) 钻头 + $\Phi 121$ mm 单弯螺杆 + MWD 短节 + $\Phi 121$ mm 无磁钻铤 + $\Phi 127$ mm 钻杆 + $\Phi 127$ mm 加重钻杆 + $\Phi 121$ mm 钻铤
取心孔段	$\Phi 91$ mm 绳索取心钻头 + $\Phi 89$ mm 取心筒 + 取心钻铤 + $\Phi 89$ mm 钻杆 + 方入

表 3 ZKxx3-着陆点前钻孔轨迹数据一览表

Table 3 ZKxx3-list of borehole trajectory data before landing

孔深/ m	倾角/ ($^{\circ}$)	方位角/ ($^{\circ}$)	垂直孔深/ m	闭合距/ m	全角/ ($^{\circ}/30$ m)	控制点
0	0	0	0	0	0	孔口
218	1.49	254.25	217.98	2.83	0.279	造斜点
227.40	3.12	300.25	227.37	3.18	7.869	
...	...	...	...	...	...	
255.77	9.10	19.95	255.60	3.59	10.008	
265.22	12.57	19.95	264.88	4.26	11.016	
...	...	...	...	...	...	
303.05	29.79	29.95	300.06	15.89	14.171	
312.56	33.49	29.75	308.16	20.71	11.677	
...	...	...	...	...	...	
407.22	53.00	27.25	377.58	84.12	6.955	
416.69	53.66	27.75	383.23	99.36	1.727	
...	...	...	...	...	...	
496.46	59.77	28.05	428.62	157.21	5.564	
506.06	62.89	28.35	433.22	165.63	9.785	
542.00	77.00	23.75	444.96	199.48	7.996	着陆点

下探管测得的数据发送到地面,经计算机系统采集处理后,得到实时的钻孔轨迹参数。使用该类型测斜仪不但提高测斜定向精度,而且能根据测定参数,及时调整定向钻进的施工方案。依据监测实现钻孔轨迹实时监控、随时可控可调,能同时改变钻孔倾角和方位角。测斜时为避免磁场干扰,在孔底马达和随钻测斜仪之间连无磁钻杆。在钻头处装备了孔斜传感器,能随时将地层电阻率、伽马射线、转速等参数及时以冲洗液脉冲方式传到地面^[17]。

(3) 定向控制调整

根据测量参数及时调整定向钻进的施工方案。发现工具面向角反转泵压升高,及时顺时针旋转调整工具面向角,防止松扣。停泵测量时,会造成反扭角改变,要对孔底马达反扭角进行定量计算或根据钻孔实际状况进行预测。工具面向角对倾角变化和方位控制的影响比较大,若工具面向角 $B = 0^{\circ}$ 或 $B = 180^{\circ}$ 时其效

应是全力造斜上仰或全力降斜,若工具面向角 $B = 90^\circ$,为全力增方位, $B = 270^\circ$,为全力降方位^[18]。主孔及水平分支孔全角变化率保持在 $30 \sim 35^\circ/100\text{ m}$;控制实际钻孔轨迹与设计钻孔轨迹误差 $\leq 1.5\text{ m}$ 。

4.4 水平分支孔施工

开水平分支孔位于奥陶灰岩顶界面以下 25 m 稳定岩层,轻压慢进,避免提拉钻具,开水平分支孔钻进 $2 \sim 3\text{ m}$ 之后,立即调整工具面向角使钻孔轨迹沿设计轨迹继续延伸;每个水平分支孔完成后做压水实验,满足地层吸水率要求后进行全孔注浆,凝固 3 天后检查注浆效果。然后按照水平分支孔施工、注浆顺序完成后续分支水平分支孔的钻探与配合注浆工作。

(1) 水平分支孔分支方法。采用悬空侧钻分支法,当钻具下至预开分支点钻出新的水平分支孔,相同深度的测斜数据不同,则表明开水平分支孔成功。

(2) 水平分支孔施工顺序与水平分支孔间距。施工顺序从最远端钻孔开始钻进,注浆依次完成。水平分支孔间距控制在 $\pm 50\text{ m}$ 。

4.5 钻进参数

无论是垂直钻进,还是水平钻进,钻压、转速、泵量等参数是控制钻孔质量和效率的重要因素,应结合地层特点、孔深和孔径以及钻具重量灵活选择^[19],钻进参数见表 4。

表 4 钻进参数一览表
Table 4 Drilling parameters

孔段/m	钻头 直径 Φ/mm	钻压/ kN	转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	排量/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)	泵压/ MPa
0 ~ 165	445	60 ~ 75	60 ~ 80	32	7 ~ 9
165 ~ 215	311	75 ~ 80	50 ~ 80	30 ~ 42	8 ~ 9
215 ~ 542	216	40 ~ 50	50 ~ 80	30 ~ 42	8 ~ 9
取心孔段	91	20 ~ 30	40	36 ~ 38	2 ~ 3

4.6 冲洗液

直孔段冲洗液以清水为主。水平分支孔采用无固相泥浆冲洗液,以生物聚合物、纤维素衍生物、合成聚合物以及弱凝胶作为增黏剂,配合使用改性淀粉、聚阴离子纤维素(PAC)、磺化酚醛树脂(SMP)等提高其降滤失性,用加重剂和盐调整密度,添加防塌抑制剂、润滑剂等使冲洗液具有良好的润滑性、抑制性和携砂性。冲洗液密度 1.01 g/cm^3 ,漏斗黏度 $20 \sim 22\text{ s}$,表观黏度 $8\text{ Pa} \cdot \text{s}$,动塑比 $0.33\text{ Pa/mPa} \cdot \text{s}$,润滑系数 0.08 。

采用泥浆罐、搅拌机、振动筛、除泥(砂)器、除泥器等三级以上固控系统,对含沙量、泥饼等性能进行严格控制。

4.7 主要技术措施

(1) 套管固定

用 425 水泥浆做全孔固定套管,水泥浆密度为 1.85 g/cm^3 ,水泥浆滤失量 $\leq 50\text{ mL}$ 。注浆凝固 72 h 后,扫孔至套管外 0.5 m ,严格按规程做注水试验,观测 8 h,水位下降不超过 10 mm/h 。

(2) 采空区套管注浆护壁

2[#]煤层存在采空区,有上部地层坍塌致使埋钻的危险,在钻进至 2[#]煤层采空区下 20 m 后,洗井、扫孔,把冲洗液彻底替换完后下入套管,在采空区顶部位置的套管外部加分隔器。从钻杆内正注水泥浆上返进入环状间隙至采空区,正注结束后再进行反注,从环状间隙进行注浆,待水泥浆注入到分隔器位置后结束固井。

(3) 水平分支孔减阻

为减少长距离水平分支孔钻具拖底摩擦阻力,创新采用水力振荡技术,在距离钻头 180 m 处安设一个水力振荡器,使用中保持其工作时间不超过 120 h ,实践证明振荡器能减少拖底摩擦阻力 $30\% \sim 40\%$,提高了钻进效率。

(4) 精确注浆

注浆采用自动化程度高、劳动强度低、污染小^[20]的注浆车系统(图 4)精确造浆及实时注浆监控技术,该技术可达到 $1.5\text{ m}^3/\text{min}$ 的注浆能力,最高压力达 38 MPa ,实现了浆液实时准确控制。

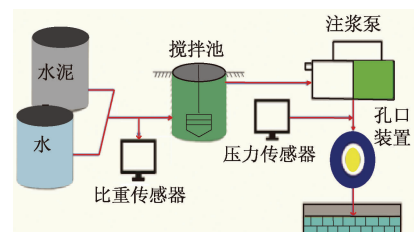


图 4 注浆车系统组成示意图

Fig.4 Schematic diagram of grouting vehicle system

5 应用实例

ZKxx3 孔实际完成工作量:直孔段 215 m ,造斜孔段 327 m ,水平分支孔 8 个,完成总进尺 $6\,028\text{ m}$ 。通过定向钻探施工超前注浆充填奥陶系灰岩上部溶隙和裂隙,封堵断层等构造薄弱区段,对煤矿安全生产提供了强有力的技术支撑。

近 3 年来,在邯郸、邢台、淮南、山西等地承接地面多水平分支孔工程项目 11 个,完成钻探进尺约

81 400 m,其中主/斜孔段钻探进尺 19 400 m,水平分支孔钻探进尺 61 000 m,水平分支孔最长达 1 641 m(单孔延深 3 060 m),孔斜最大达 105°,方位变化量最大达 330°。邢东矿区域,通过对 2.3 km²受水害威胁的区域实施治理,保证 7.746 8 × 10⁶ t 煤炭资源实施安全开采。

6 结论

(1)实践证明,随钻定向钻进,可随时掌握钻具方向,根据实际情况及时分析孔内情况及时调整,钻孔轨迹易达到设计要求成功率高。

(2)螺杆钻进在保证钻孔安全的情况下使用流变性好的泥浆,使用除砂器,及时清理泥浆循环系统,降低含砂量。

(3)形成了适应于东庞矿区奥陶灰岩含水层区域中的断层、陷落柱等构造导水通道和富水层段,煤层底板定向钻进技术,为类似煤矿防治水害定向钻孔的顺利施工提供了技术指导。

(4)多分支水平孔定向钻进技术注浆压力高、流量高、连续性强,大幅度提高了矿井防治水工作效率和防治效果,降低了井下钻探注浆施工存在的安全隐患。通过该钻孔的施工,积累了丰富的施工经验,创造了较好的经济效益和环保效益。

参考文献:

- [1] 李晓龙,张红强,郝世俊,等.煤层底板奥灰水害防治定向钻孔施工关键技术[J].煤炭科学技术,2019,47(5):64-70. [LI X L, ZHANG H Q, HAO S J, et al. Key techniques for directional drilling & construction for control of coal floor Ordovician limestone karst water disaster[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(5):64-70. (in Chinese)]
- [2] 金鑫,段会军,尚荣,等.煤矿薄隔水层开采奥灰水害定向钻探防治技术[J].煤矿安全,2017,48(10):86-90. [JIN X, DUAN H J, SHANG R, et al. Ordovician limestone water prevention and control by directional drilling technology in coal mining above thin impermeable layer[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(10):86-90. (in Chinese)]
- [3] 林玉祥,李文平,王启庆,等.高承压水上暗斜井开拓断层带底板水害预测与防治技术[J].煤矿安全,2015,46(4):80-83. [LIN Y X, LI W P, WANG Q Q, et al. Floor flood forecast and control technology of subinclined shaft excavation in fault zone above high confined water[J]. Safety in Coal Mines,

2015, 46(4):80-83. (in Chinese)]

- [4] 吴玉华,赵开全,孙本魁.底板灰岩承压水上开采安全技术实践及认识[J].煤矿开采,2009,14(4):40-42. [WU Y H, ZHAO K Q, SUN B K. Technology practice of mining over floor limestone with pressurized water[J]. Coal Mining Technology, 2009, 14(4):40-42. (in Chinese)]
- [5] 郑士田.两淮煤田煤层底板灰岩水害区域超前探查治理技术[J].煤田地质与勘探,2018,46(4):142-146. [ZHENG S T. Advanced exploration and control technology of limestone water hazard in coal seam floor in Huainan and Huaibei coalfields[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(4):142-146. (in Chinese)]
- [6] 王永全.羽状分支水平孔在煤矿水害地面区域探查与治理中的应用探讨[J].中国煤炭地质,2018,30(增刊1):84-89. [WANG Y Q. Probing into application of pinnately branched horizontal borehole in Coal Mine water hazard surface regional search and governance[J]. Coal Geology of China, 2018, 30(Sup1):84-89. (in Chinese)]
- [7] 李泉新.煤层底板超前注浆加固定向钻孔钻进技术[J].煤炭科学技术,2014,42(1):138-142. [LI Q X. Drilling technology of directional drilled borehole for advance grouting reinforcement of seam floor[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1):138-142. (in Chinese)]
- [8] 袁明.东庞矿奥灰含水层水文地质条件研究[J].煤炭与化工,2018,41(8):70-72. [YUAN M. Study on hydrogeological conditions of Ordovician ash aquifer of Dongpang Mine[J]. Coal and Chemical Industry, 2018, 41(8):70-72. (in Chinese)]
- [9] 李泉新,石智军,史海蛟.煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J].煤田地质与勘探,2014,42(2):85-88. [LI Q X, SHI Z J, SHI H Q. The Application of directional drilling technology in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(2):85-88. (in Chinese)]
- [10] 姚宁平,张杰,李泉新,等.煤矿井下梳状定向孔钻进技术研究与实践[J].煤炭科学技术,2012,40(5):30-34. [YAO N P, ZHANG J, LI Q X, et al. Researchment and application of comb type directional borehole drilling technology in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(5):30-34. (in Chinese)]
- [11] 方俊,李泉新,许超,等.松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及发展趋势[J].煤炭科学技术,

- 2018, 46(5): 130 - 137. [FANG J, LI Q X, XU C, et al. Construction technology and development tendency of gas drainage borehole in soft and outburst seam[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(5): 130 - 137. (in Chinese)]
- [12] 石智军, 姚克, 田宏亮, 等. 煤矿井下随钻测量定向钻进技术与装备现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(5): 22 - 28. [SHI Z J, YAO K, TIAN H L, et al. Present situation and prospect of directional drilling technology and equipment while drilling measurement in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(5): 22 - 28. (in Chinese)]
- [13] 王永全, 周兢. 钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J]. 探矿工程-岩土钻掘工程, 2017, 44(11): 35 - 41. [WANG Y Q, ZHOU J. Application of drilling technology in coal mine water hazard control[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11): 35 - 41. (in Chinese)]
- [14] 石智军, 李泉新, 姚克. 煤矿井下1800 m水平定向钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(2): 109 - 113. [SHI Z J, LI Q X, YAO K. Underground mine 1 800 m horizontal directional drilling technology and equipment[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2): 109 - 113. (in Chinese)]
- [15] 刘励慎. 用螺杆钻进行受控定向钻探取得重大效果[J]. 探矿工程, 1991: 10 - 13. [LIU L S. Controlled directional drilling with screw drill has achieved great results [J]. Exploration Engineering, 1991: 10 - 13. (in Chinese)]
- [16] 肖东辉, 苏军康, 斯敌夫·芬奇, 等. 定向钻进孔底马达工具面向角变化规律分析[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 109 - 113. [XIAO D H, SU J K, STEVE F, et al. Analysis on DHM tool face direction change pattern for directional drilling [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 109 - 113. (in Chinese)]
- [17] 向军文. 受控定向钻探技术及对接井钻探技术现状与发展前景[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 1999, 26(增刊1): 164 - 168. [XIANG J W. Status and development prospect of controlled directional drilling technology and butt well drilling technology [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 1999, 26(Sup1): 164 - 168. (in Chinese)]
- [18] 石智军, 董书宁, 姚宁平, 等. 煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(3): 1 - 6. [SHI Z J, DONG S N, YAO N P, et al. Technology and equipment of horizontal measuring directional drilling in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(3): 1 - 6. (in Chinese)]
- [19] 张福贤. 垂线孔和水平孔施工技术[J]. 水文地质工程地质, 1994, 21(1): 57 - 60. [ZHANG F X. Vertical and horizontal hole construction technology [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1994, 21(1): 57 - 60. (in Chinese)]
- [20] 靳卫虎. 利用地面定向钻探技术综合治理矿井大型断层[J]. 科学与技术, 2018(27): 84 - 85 [JIN W H. Using surface directional drilling technology to control the mine's large faults [J]. Science and Technology, 2018(27): 84 - 85. (in Chinese)]